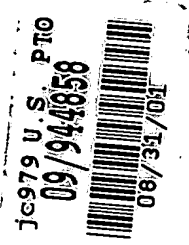


16269P-031800
#4



日 本 国 特 許 庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2000年 9月18日

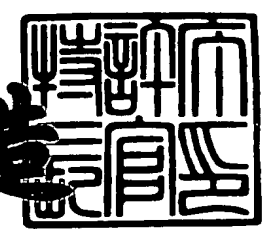
出 願 番 号
Application Number: 特願2000-282144

出 願 人
Applicant (s): 株式会社日立製作所

2001年 4月13日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3029969

【書類名】 特許願

【整理番号】 Y3319

【提出日】 平成12年 9月18日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02B 7/28

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社日立
製作所 生産技術研究所内

【氏名】 下田 篤

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社日立
製作所 生産技術研究所内

【氏名】 宇都 幸雄

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社日立
製作所 生産技術研究所内

【氏名】 吉田 実

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社日立
製作所 生産技術研究所内

【氏名】 前田 俊二

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社日立
製作所 生産技術研究所内

【氏名】 中田 俊彦

【特許出願人】

【識別番号】 000005108

【氏名又は名称】 株式会社日立製作所

【代理人】

【識別番号】 100078134

【弁理士】

【氏名又は名称】 武 顕次郎

【電話番号】 03-3591-8550

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 006770

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9003102

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 欠陥検査装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 本来同一形状となるべきパターンが複数規則的に配置された被検査物の検査装置であって、

分解能 $0.18\ \mu\text{m}$ 以下、より好ましくは $0.13\ \mu\text{m}$ 以下となる照明波長と対物レンズ開口数との関係を備えた撮像光学系と、

該撮像光学系の結像位置に配置された光電変換器と、

前記撮像光学系とは別に設けられた光路からなり入射角度 85 度以上、より好ましくは 88 度以上で照明する自動焦点光学系と、

該自動焦点光学系の検出信号に基づき前記撮像光学系の焦点位置を調節する手段と、

前記光電変換器の電気信号を処理する手段とを、
有することを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 2】 請求項 1 記載の欠陥検査装置において、
温度検出手段と、

予め計測もしくはシミュレーションにより算出した温度と合焦点位置オフセットとの関係を記憶する手段と、

前記温度検出手段による温度検出結果に基づき、温度と合焦点位置オフセットとの前記関係から合焦点位置オフセットを予測する手段と、

該手段による予測量に基づき合焦点位置オフセットを修正する手段とを、
備えることを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 3】 請求項 1 記載の欠陥検査装置において、
撮像光学系を分岐して構成される焦点位置測定光学系と、
前記被検査物とは別に設けられ前記焦点位置測定光学系による測定対象となる試料と、

前記試料において前記焦点位置測定光学系により合焦位置オフセットを計測し、この計測結果に基づき前記撮像光学系とは別に設けられた前記自動焦点光学系のオフセットを調節する手段とを、

備えることを特徴とする欠陥検査装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、被検査パターンの欠陥を検出する欠陥検査装置に係り、特に、半導体ウェハの透明膜上に形成された微細なパターンの光学像を検出するのに用いて好適な欠陥検査装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

光学式の欠陥検査装置は、微細なパターンを光学的に結像させるために高精度な自動焦点合わせ機能を備えた顕微鏡システムを搭載している。このような顕微鏡システムに関する技術が、特開平6-265773号公報（名称；顕微鏡自動焦点装置）に開示されており、この先願公報に記載された従来技術においては、対物レンズを自動焦点光線が通過するTTL（Through the Lens）方式を採用している。

【0003】

TTL方式は、結像光線と自動焦点光線が共に対物レンズを通過するため、温度等のわずかな環境変化により焦点距離が変動しても、自動焦点検出結果と結像コントラストに高い相関が保たれる特徴がある。このため、半導体ウェハに形成された微細なパターンを検出するような顕微鏡システムでは、TTL方式が標準的な自動焦点方式となっている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

半導体装置の配線ルールは、現在0.18 μ m幅が主流であり、今後0.13 μ m幅に移行することが予想されている。このような微細な回路パターンを形成するためには、CMP（Chemical Mechanical Polishing）加工が必須となりつつある。

【0005】

図4に、CMP加工されたウェハの断面図を示す。図4の（a）は、下層回

路パターン 1 が形成された状態を示し、図 4 の (b) は、下層回路パターン 1 上に透明膜である層間絶縁膜 2 が塗布された状態を示している。層間絶縁膜 2 は下層回路パターン 1 が形成されている場所で盛り上がり、結果として、層間絶縁膜表面は凹凸を有する。そこで、層間絶縁膜 2 上に微細なパターンを形成するために、上記凹凸を平坦化することが必要となる。なぜなら、微細パターンを形成する露光装置の焦点深度は浅く、上記凹凸が無視できないためである。

【0006】

この凹凸を平坦化するのが CMP 加工である。具体的には、研磨パッドを層間絶縁膜（透明膜）2 の表面に押し付け化学砥粒（スラリー）を塗布しながら研磨する。この結果、図 4 の (c) に示すような平坦な表面 3 を得ることができる。この平坦な表面 3 上には、図 4 の (d) に示すように、微細な回路パターン 4 の形成が可能である。すなわち、 $0.18 \sim 0.13 \mu\text{m}$ 幅ルールの今後の半導体製品では、CMP 加工された透明膜上に微細な回路パターンが形成される特徴がある。このため、欠陥検査装置は、前記のような回路パターンを精度良く解像できる光学性能を持つことが必要となる。

【0007】

しかし、前記 TTL 方式の自動焦点は、CMP 加工された透明膜においては、以下に述べる課題を有する。これを、図 5、6 を用いて説明する。図 5 の (a) は、対物レンズ 5 の広がり角 θ を示している。広がり角 θ と開口数 NA との間には、

$$NA = \sin \theta \quad \dots\dots (1) \text{ 式}$$

上記 (1) 式の関係がある。

【0008】

図 5 の (b) は、(1) 式の関係を図示したものである。図 5 の (b) に示すように、大気中で用いられる NA として最大に近い $NA = 0.95$ でも、広がり角 θ は 72 度程度であることが判る。

【0009】

図 6 は、透明膜に入射する光線の入射角 i と反射率 R の関係を示しており、黒丸は S 偏光、黒四角は P 偏光である。反射率 R は入射角度 i の関数であり、偏光

状態によって異なる。同図に示すように、72度（図中の符号6）では有利なS偏光においても、わずか30%程度（図中の符号7）しか反射せず、残り70%は透明膜中に透過することが判る。このため、TTL方式の自動焦点光線は、ほとんどが透明膜中に透過して下層パターン部で反射して検出されることが判る。

【0010】

図7に、TTL方式で照明した光線8が、透明な層間絶縁膜2を透過して下層回路パターン1の形成面10で合焦した場合を示す。この結果、本来検出すべき透明な層間絶縁膜9上の微細なパターン4および同一層で発生した欠陥11は、デフォーカスし、本来検出すべきでない透明な層間絶縁膜9の下の層に形成した下層回路パターン1および同一層で発生した欠陥12に、フォーカスが一致することとなる。

【0011】

半導体装置の欠陥検査においては、検出された欠陥がどの層で発生したのかを切り分けることが重要であり、欠陥が層別に把握できることにより、初めて対策が可能となり、欠陥を低減することができる。しかしながら、図7に示したように、検出用の光線が、合焦させたい位置と異なる位置に合焦すると、検出すべき位置の欠陥検出の精度が極端に悪化する。

【0012】

本発明の目的は、透明膜上に形成された微細パターンに発生した欠陥を感度良く検出するべく、透明膜表面に精度良くフォーカス位置を一致させて高解像撮像した画像により、欠陥が検出可能な欠陥検査装置を提供することにある。

【0013】

また、本発明の他の目的は、透明膜表面に精度良くフォーカス位置を一致させて高解像撮像した画像を、周囲の温度変化の影響を受けずに安定して出力できる欠陥検査装置を提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本発明では以下の技術的手段を備える。

【0015】

まず、本来同一形状となるべきパターンが複数規則的に配置された被検査物を検査するための欠陥検査装置において、

解像度 $0.18\text{ }\mu\text{m}$ 以下、より好ましくは $0.13\text{ }\mu\text{m}$ 以下となる照明波長と対物レンズ開口数との関係を備えた撮像光学系と、

撮像光学系の結像位置に配置された光電変換器と、

撮像光学系とは別に設けられた光路からなり入射角度 85 度以上、より好ましくは 88 度以上で照明する自動焦点光学系と、

自動焦点光学系の検出信号に基づき撮像光学系の焦点位置を調節する手段と、

光電変換器の電気信号を処理する手段とを、

備えた構成をとる。

【 0 0 1 6 】

また、上記欠陥検査装置において、

温度検出手段と、

予め計測もしくはシミュレーションにより算出した温度と合焦点位置オフセットとの関係を記憶する手段と、

温度検出手段による温度検出結果に基づき、温度と合焦点位置オフセットとの上記関係から合焦点位置オフセットを予測する手段と、

この手段による予測量に基づき、合焦点位置オフセットを修正する手段とを、備えた構成をとる。

【 0 0 1 7 】

また、前記欠陥検査装置において、

撮像光学系を分岐して構成される焦点位置測定光学系と、

被検査物とは別に設けられ焦点位置測定光学系による測定対象となる試料と、

この試料において焦点位置測定光学系により合焦位置オフセットを計測し、この計測結果に基づき、撮像光学系とは別に設けられた前記自動焦点光学系のオフセットを調節する手段とを、

備えた構成をとる。

【 0 0 1 8 】

上記した構成を具備することによる有用性は、以下の発明の実施の形態の説明

において明らかとなる。

【 0 0 1 9 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を、図面を用いて説明する。図 1 は、本発明の第 1 実施形態に係る半導体ウェハの欠陥検査装置の構成を示す図である。

【 0 0 2 0 】

図 1 に示した構成において、照明光源 1 5 の光線は、ハーフミラー 1 6 で反射して、対物レンズ 5 を介して被検査物であるウェハ 1 7 を落斜照明する。ウェハ 1 7 からの反射光線は、ハーフミラー 1 6 を透過し、結像レンズ 1 8 によりイメージセンサ 1 9 上に結像される。ウェハ 1 7 は、X、Y、Z ステージ (2 0、2 1、2 2) 上に固定されている。

【 0 0 2 1 】

イメージセンサ 1 9 の信号は、X ステージ 2 0 に付加されたりニアスケール 2 3 から、X ステージが一定間隔移動する度に発生されるタイミング信号 2 4 に基づき、読み出される。

【 0 0 2 2 】

自動焦点光学系について述べれば、スリット 2 5 を通過した照明光線は、結像レンズ 2 6 によりウェハ 1 7 表面に集光され、スリット像が投影される。ウェハ 1 7 表面で反射した光線は、結像レンズ 2 7 により受光センサ 2 8 に結像される。

【 0 0 2 3 】

図 2 は自動焦点光学系の原理を説明している。自動焦点光学系の照明光線の入射角を θ 、ウェハ 1 7 の高さ変化を Δh 、結像レンズ 2 7 の結像倍率を m とすると、受光センサ 2 8 上の移動距離 ΔS は、

$$\Delta S = 2 m \times \Delta h \times \sin \theta \quad \cdots \cdots (2) \text{ 式}$$

上記 (2) 式のようになる。

【 0 0 2 4 】

受光センサ 2 8 が 2 分割ダイオードの場合、撮像光学系の焦点位置で 2 つのダイオードの受光量が等しくなるように、オフセットを調節しておく。ウェハ高

さが Δh 変化すると、センサ上の受光位置が ΔS 変動するため、2つのダイオードの受光量がアンバランスとなる。そこで、光量のバランスが取れる位置にウェハー17が来るように、Zステージ制御部13によってZステージ22を制御することにより、常に、撮像光学系の焦点位置にウェハー高さが調節される。

【0025】

図3は、イメージセンサ19の出力を処理する画像処理部29の構成図である。イメージセンサ19の出力を、遅延メモリ30aによりウェハー17をX方向に1チップ分移動する時間だけ遅らせる。これにより、イメージセンサ19の出力信号と遅延メモリ30aの出力信号は、隣接するチップの画像信号にそれぞれ相当するものとなる。イメージセンサ19からの画像信号と遅延メモリ30aからの画像信号を、エッジ検出回路30b、30cにそれぞれ入力し、被検査パターンのパターンエッジを検出し、2値化回路30d、30eで、上記検出されたパターンエッジが2値化される。次に、不一致検出回路30fにおいて、エッジ検出回路30bから出力されるパターンエッジと30cから出力されるパターンエッジをXY方向にシフトしながら、両信号の不一致が小さい最適な位置ずれ量の検出を行う。そして、位置合わせ回路30gにおいて、イメージセンサ19からの画像信号と遅延メモリ30aからの画像信号とに基づき検出された位置ずれ量だけ、不一致画素をシフトして、欠陥判定回路30hに出力する。

【0026】

ところで、被検査物である半導体装置の配線ルールは、3年で $1/\sqrt{2}$ 倍の周期で微細化しており、現在主流である最小線幅 $0.18\mu\text{m}$ が、今後 $0.13\mu\text{m}$ に移行することが予想されている。このような微細な回路パターンを形成するためには、図4を用いて先に述べたように、CMP加工が必須となりつつあり、CMP加工された透明な層間絶縁膜上に形成された微細なパターンを検出することが必要となる。

【0027】

そこで以下に、図1の欠陥検査装置が、CMP加工された透明な層間絶縁膜2上に形成された微細なパターン4を安定して検出するための必要条件について述べる。

【 0 0 2 8 】

一般に、顕微鏡光学系の分解能 R_{es} は、

$$R_{\text{es}} = 0.5 \times \lambda / NA \quad \dots\dots (3) \text{ 式}$$

上記 (3) 式のように表される。ここで、 λ は照明光線の波長、 NA は対物レンズの開口数である。

【 0 0 2 9 】

図 8 の (a) は、(3) 式の定義を模式的に示している。(3) 式は、ラインとスペースの繰り返しパターン 31 を仮定しており、撮像光学系の結像位置 32 において、隣接したパターンの像 33 が分離して検出される条件を示している。また、図 8 の (b) は、対物レンズの開口数 NA と照明光線の波長 λ とに対する分解能 R_{es} の関係を示している。

【 0 0 3 0 】

ここで、(3) 式や図 8 の (b) より明らかなように、分解能を向上するためには (R_{es} の値を小さくするためには)、照明波長 λ を短くするか、または、対物レンズの開口数 NA を大きくする必要がある。ただし、両者には物理的な制約があり、自ずと実現可能な範囲が決まってくる。照明波長 λ について述べれば、光電変換器 (イメージセンサ 19) の変換効率により下限が決まる。すなわち、光電変換器において光子がセンサに衝突する際に発生する電子の割合を量子効率と呼ぶが、この量子効率は光線波長の関数となることが知られている。実在する光電変換器について述べれば、実用的な量子効率を得られる照明波長 λ の下限は、 $0.2 \sim 0.3 \mu\text{m}$ (図 8 の (b) 中の符号 34) 程度である。

【 0 0 3 1 】

このような $\lambda = 0.2 \sim 0.3 \mu\text{m}$ の範囲に該当する顕微鏡の照明光源としては、キセノンランプまたは水銀キセノンランプがあり、連続した波長の照明光が得られる。また、例えば YAG レーザ ($\lambda = 0.532 \mu\text{m}$) と非線形光学素子を組み合わせることにより、第 2 高調波である波長 $0.266 \mu\text{m}$ が得られることが知られている。図 8 の (b) から、照明波長範囲 $0.2 \sim 0.3 \mu\text{m}$ において、回路パターン幅寸法と略同等である分解能 $R_{\text{es}} = 0.15 \mu\text{m}$ (図 8 の (b) 中の符号 35) を実現する NA は、ほぼ $0.7 \sim 0.9$ (図 8 の (b) 中の

符号36)の範囲となることが判る。

【0032】

一方、照明波長 λ と開口数NAから、焦点深度DOFは、

$$DOF = 0.5 \times \lambda / (NA^2) \quad \dots\dots (4) \text{ 式}$$

上記(4)式の関係によって求めることができる。

【0033】

図9の(a)に、(4)式の定義を模式的に示す。撮像光学系のベストフォーカス位置37に対して、 $\pm DOF$ の範囲38においては、良好な結像性能が維持できることを意味する。

【0034】

図9の(b)に、対物レンズの開口数NAと照明波長 λ とに対する焦点深度DOFの関係を示す。回路パターン幅と略同等である分解能 $0.15 \mu m$ を実現するNA(図9の(b)の符号36)と照明波長 λ (図9の(b)の符号34)における焦点深度は、ほぼ $\pm 0.2 \mu m$ (図9の(b)の符号39)となる。このため、この範囲にある回路パターンおよび欠陥は良好に解像し、この範囲から外れるにつれてコントラストが低下してデフォーカスする。そこで、自動焦点光学系の高さ検出誤差は、上記の焦点深度未満であることが必要となる。

【0035】

図10に、透明膜40における自動焦点光学系の照明角度 θ と高さ検出誤差との関係を示す。透明膜40に照明角度 θ で光線41が入射すると、偏光方向に応じて、

$$R_p = (\cos i_1 / n_1 - \cos i_2 / n_2) / (\cos i_1 / n_1 + \cos i_2 / n_2) \quad \dots\dots (5) \text{ 式}$$

$$T_p = 1 - R_p \quad \dots\dots (6) \text{ 式}$$

$$R_s = (n_1 \times \cos i_1 - n_2 \times \cos i_2) / (n_1 \times \cos i_1 + n_2 \times \cos i_2) \quad \dots\dots (7) \text{ 式}$$

$$T_s = 1 - R_s \quad \dots\dots (8) \text{ 式}$$

上記(5)式～(8)式の関係によって、反射光線と透過光線に分岐する。ここで、Rは振幅反射率、Tは振幅透過率、s、pは偏光方向の添字、1と2は媒質

の添字であり、 n は屈折率、 i は入射角度である。

【0036】

空気中の屈折率を1、透明膜の屈折率を1.5、透明膜厚を $1\mu\text{m}$ 、下層膜での反射率を1（高さ検出誤差が最大の場合を仮定）として、照明角度 θ と高さ検出誤差との関係を求めたのが、図10の（b）であり、図中、黒丸はP偏光、黒四角はS偏光である。

【0037】

図10の（b）から、高さ検出誤差が焦点深度 $\pm 0.2\mu\text{m}$ （図10の（b）中の符号39）未満となる条件は、照明光線の光量ロスが少ないランダム偏光の場合（ワーストケースとしてP偏光を仮定すると）88度（図10の（b）中の符号43）以上であることが判る。光量ロスを許容してS偏光とすれば85度（図10の（b）中の符号42）以上でも良い。これらの照明角度は、TTL方式での実現は困難である。

【0038】

図11は、上記した図8から図10で述べた条件を備えた欠陥検査装置で、透明膜上の微細パターンが撮像される様子を示している。撮像光学系として、照明光の波長 $\lambda = 0.266\mu\text{m}$ 、対物レンズの開口数 $NA = 0.85$ を仮定すると、分解能 Res および焦点深度 DOF は、

$$Res = 0.5 \times 0.266 / 0.85 = 0.156\mu\text{m}$$

$$DOF = 0.5 \times 0.266 / (0.85 \times 0.85) = 0.184\mu\text{m}$$

それぞれ上記のようになる。

【0039】

さらに、自動焦点の照明光線を、S偏光で85度以上の照明角度で入射することにより、高さ検出誤差を $\pm 0.2\mu\text{m}$ 未満とすることができる。この結果、欠陥検査装置で検出される画像は、透明膜（透明な層間絶縁膜）2の表面14に合焦された状態となり、透明膜2上に形成された $0.15\mu\text{m}$ 幅の微細な回路パターン4を良好に結像した状態で検出でき、同一層の欠陥11を感度良く検出可能となる。一方、透明膜2の膜厚が $0.2\mu\text{m}$ 以上の場合は、下層回路パターン1のコントラストが低下して、本来検出すべきでない欠陥12の過検出を防止する

ことができる。

【0040】

図12は、上述した記載事項を前提として、本実施形態による検査結果と従来技術の検査結果とを対比して、模式的に示したものである。図12の(b)に示す本実施形態では、 $0.15\mu\text{m}$ 幅が結像可能な撮像光学系($\text{NA}=0.85$ 、 $\lambda=0.266\mu\text{m}$)およびS偏光で照明角度85度以上の自動焦点光学系を組み合わせることにより、透明膜2の表面14(表面14の高さ $\pm 0.2\mu\text{m}$ の範囲内)の微細な回路パターン4($0.15\mu\text{m}$ 幅)を解像して、感度良く欠陥11を検出することが可能である。さらに、透明膜2(膜厚 $0.2\mu\text{m}$ 以上)の下層にある欠陥12の過検出45が防止される。

【0041】

一方、図12の(a)に示した従来の検査条件(S偏光で照明角度85度未満の、約58度)においては、透明膜2の下層の表面10にフォーカスが一致するため、本来検出すべきでない欠陥12の過検出や、本来検出すべき欠陥の見逃し46が発生する。

【0042】

なお、上述した例では、回路パターン幅を $0.15\mu\text{m}$ として発明の構成要件が満たすべき数値の説明を行った。今後、回路パターンが微細化すると、(3)式の分解能 R_{es} を更に向上する必要がある、照明波光の波長 λ および対物レンズの開口数 NA を向上させる必要が生じる。この結果、(4)式の焦点深度 DOF が浅くなるため、図10の(b)に示す、高さ検出誤差を更に低減する必要がある。この場合、S偏光において照明角度を88度(図10の(b)中の符号43)以上とすることが必要となるが、本発明の構成要件において解決可能である。

【0043】

図13は、本発明の第2実施形態に係る半導体ウェハの欠陥検査装置の構成を示す図である。本実施形態が前述した第1実施形態と相違するのは、第1実施形態の構成に、温度センサ50と、合焦位置オフセット調整部51とを付加したことにある。

【 0 0 4 4 】

欠陥検査装置の対物レンズは、短い照明波長において収差補正がなされており、多数枚のレンズからなることが多い。このため、摂氏1度程度の温度変化であっても、焦点距離が焦点深度相当変動することが避けられない。そこで、第1実施形態で述べた性能を長時間維持するためには、経時的に変動する焦点距離を補正する必要がある。なぜなら、自動焦点光学系は撮像光学系とは別光路からなるため、焦点距離が変動すると合焦位置とは異なる位置に毎回ウェハー17の高さが調節され、検出される画像がデフォーカスするためである。

【 0 0 4 5 】

温度が変化するとレンズが膨張または収縮して焦点距離が変動する。このため、温度と焦点距離の関係を予め計測しておく。図14に、その計測例を示す。横軸は温度、縦軸は焦点距離を示す。これらは予め温度を変化させて計測することが可能である。また、図14の関係は、光学シミュレーションによっても算出することが可能である。

【 0 0 4 6 】

図14の関係が既知であれば、温度センサ50で計測した対物レンズ5の温度から、現在の焦点距離が予測可能となり、合焦位置のオフセットを補正することが可能となる。そこで、予め計測もしくはシミュレーションにより算出した温度と合焦位置オフセットとの関係（図14の関係）を、合焦位置オフセット調整部51に記憶させておく。そして、合焦位置オフセット調整部51は、温度センサ50による温度検出結果に基づき、図14の関係から合焦点位置オフセットを予測し、この予測量に基づき合焦位置のオフセットを修正する信号を、Zステージ制御部13に出力する。これにより、温度変化に起因する合焦位置のオフセットを、合焦位置オフセット調整部51により補正させることが可能となる。合焦位置オフセット調整部51は、例えば、上記オフセット調整を前回のゼロ点に加算させることにより実行する。

【 0 0 4 7 】

図15は、本発明の第3実施形態に係る半導体ウェハーの欠陥検査装置の構成を示す図である。本実施形態が前述した第1実施形態と相違するのは、第1実施

形態の構成に、T T L方式の焦点位置測定光学系と、該焦点位置測定光学系の測定対象となる焦点位置測定用の試料 5 3 とを付加したことにある。本実施形態においても、前記第 2 実施形態と同様に、経時的に変動する撮像光学系の焦点距離を補正できるようにしている。

【 0 0 4 8 】

焦点位置測定用の試料 5 3 は、その表面高さが、ウェハー 1 7 の高さと同様一高さとなるように設定されており、かつ、その平坦な表面は、照明光を概略全反射するミラー面として構成されていて、ウェハー 1 7 と共に X、Y、Z ステージ (2 0、2 1、2 2) 上に取り付けられている。図 1 6 の (a) は、焦点位置測定用の試料 5 3 とウェハー 1 7 との関係を示す平面図で、試料 5 3 は、ここでは、ウェハー 1 7 の外周を囲むようにリング状に形成されたものとしているが、試料 5 3 の形状はこれに限られるものではない。また、試料 5 3 の表面高さの設定位置も任意である。

【 0 0 4 9 】

T T L方式の焦点位置測定系光学は、T T Lの自動焦点光学系と同一であり、例えば照明光路に設置されたスリット 5 4 により絞り込んだ照明光によって、試料 5 3 上の所定の領域 (撮像用の照明領域以外の領域 = 照明領域におけるイメージセンサ 1 9 に対応する領域以外の領域) を照明し、試料 5 3 からの反射光を、ダイクロイックミラー 5 5 により分岐させ、この分岐させて取り出した光路を、ハーフミラーおよびミラーを用いてさらに 2 つに分岐して、それぞれの光路において結像位置と共役な位置の前後にそれぞれ配置した受光センサ 5 6 によって、センシングするようにしたものである。そして、この 2 つの受光センサ 5 6、5 6 の出力を T T L 焦点位置測定部 5 7 において比較し、合焦状態を計測するものである。このような、T T Lの焦点位置測定光学系では、試料 5 3 の表面高さが対物レンズ 5 の合焦位置に一致した場合、2 つのセンサ 5 6 のコントラストは等しくなる。

【 0 0 5 0 】

このため、温度変化等によって、自動焦点光学系による焦点位置に対して対物レンズ 5 の合焦位置が変動した場合であっても、同一箇所を T T L方式の焦点位

置測定系で測定することにより、TTL焦点位置測定部57から、Zステージ制御部13に自動焦点のオフセット補正信号を与えることによって、自動焦点のオフセットを正確に補正できる。つまり、TTL方式の焦点位置測定光学系の光線と撮像光学系の光線は、共に対物レンズ5を通過するので、TTL方式の焦点位置測定光学系の焦点位置を、撮像光学系の焦点位置と等価なものを見なすことができ、このため、自動焦点光学系による焦点位置に対する位置ずれ量を、TTL焦点位置測定部57で正確に演算することができ、この演算結果に基づき、TTL焦点位置測定部57からZステージ制御部13に自動焦点のオフセット補正信号を与えることで、自動焦点のオフセットを正確に補正できる。この結果、図16の(b)に示すように、焦点位置測定用の試料53上において、自動焦点光学系の反射位置57とTTL方式の焦点位置測定系の合焦位置57とが、一致するように制御することが可能となり、以って、ウェハー17の透明膜上においても、自動焦点光学系の反射位置とTTL方式の焦点位置測定光学系の合焦位置（つまり、撮像光学系の合焦位置）とが一致するように制御することが可能になる。

【0051】

以下、図17のフローチャートに基づき、本実施形態の動作を説明する。まず、検査開始前に、ウェハー周辺に設けられた試料53の初期位置58（図16の(a)参照）が、自動焦点光学系およびTTL方式の焦点位置測定光学系の測定位置となるようにステージを移動させる（ステップS1）。次に、試料53の初期位置58において、自動焦点光学系による測定結果を用いて、Zステージ22を駆動制御して自動焦点合わせ処理を実行させ（ステップS2）、然る後、TTL方式の焦点位置測定光学系による焦点位置測定を実行させる（ステップS3）。次に、自動焦点光学系による合焦位置と、TTL方式の焦点位置測定光学系による合焦位置とのずれ量を、TTL焦点位置測定部57で算出し、この算出結果に基づく自動焦点のオフセット補正信号をZステージ制御部13に与えて、自動焦点光学系による自動焦点検出値が対物レンズ5の合焦位置と一致するようにオフセット補正する（ステップS4）。この後、Xステージ22を移動させて、ウェハー17上の所定領域の欠陥検査が実行され、Xステージ22が往動完了した時点でYステージ21が1ステップ駆動され、次にXステージ22が復動されて

、ウェハー 17 上の次の所定領域の欠陥検査が実行される（ステップ S 5）。そして、X ステージ 22 が 1 往復し、自動焦点光学系の反射位置が試料 53 上の位置 59（図 16 の（a）参照）となった時点で、X ステージ 22 の動作を一旦停止させて、欠陥検査が終了したか否かを判断する（ステップ S 6）。検査が終了していない場合は、Y ステージ 21 を 1 ステップ駆動して、自動焦点光学系の反射位置を、次のオフセット補正用の測定位置 60（図 16 の（a）参照）に移動させ（ステップ S 7）、然る後、再度、ステップ S 2 ～ S 4 において自動焦点のオフセットを補正した後、ステップ S 5 で欠陥検査を実行し、以下、ウェハー 17 上の全領域の検査が完了するまで、上記の動作を繰り返す。

【0052】

なお、上述した例では、自動焦点のオフセット補正を、X ステージ 22 の 1 往復毎に行っているが、オフセット補正の頻度は、周囲の環境変化の程度などに応じて、任意に増減可能であることは云うまでもない。

【0053】

【発明の効果】

以上のように本発明によれば、透明な層間絶縁膜上の微細パターンおよび同一層の欠陥を感度良く検出でき、かつ、下層のパターンおよび同一層の欠陥をデフォーカスした状態で検出できるので、本来検査したい工程の欠陥のみが検出可能となる。この結果、工程別の欠陥数を正確に把握することが可能となり、的確な不良発生防止対策を講じることが可能となる。また、本発明によれば、上記のような性能を、温度等の環境変化に影響を受けることなく、長期間安定に実現可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 実施形態に係る半導体ウェハーの欠陥検査装置の構成を示す説明図である。

【図 2】

本発明の各実施形態で用いられる、自動焦点光学系の検出原理を示す説明図である。

【図 3】

図 1 中の画像処理部の構成を示すブロック図である。

【図 4】

CMP 加工されるウェハーの断面を示す説明図である。

【図 5】

対物レンズの開口数と広がり角との関係を示す説明図である。

【図 6】

透明膜に入射する光線の入射角と反射率との関係を示す説明図である。

【図 7】

T T L 方式の自動焦点光学系によって下層パターンに合焦した様子を示す説明図である。

【図 8】

N A と λ と分解能との関係を示す説明図である。

【図 9】

N A と λ と焦点深度との関係を示す説明図である。

【図 1 0】

透明膜における自動焦点光学系の照明角度と高さ検出誤差との関係を示す説明図である。

【図 1 1】

本発明の第 1 実施形態の構成により、透明膜上の微細パターンが撮像される様子を示す説明図である。

【図 1 2】

従来技術による欠陥検査の様子と、本発明の第 1 実施形態による欠陥検査の様子とを示す説明図である。

【図 1 3】

本発明の第 2 実施形態に係る半導体ウェハーの欠陥検査装置の構成を示す説明図である。

【図 1 4】

撮像光学系における温度と焦点位置との関係を示す説明図である。

【図 15】

本発明の第3実施形態に係る半導体ウェハの欠陥検査装置の構成を示す説明図である。

【図 16】

本発明の第3実施形態における、焦点位置測定用の試料や検査時のステージ移動シーケンスの概要などを示す説明図である。

【図 17】

本発明の第3実施形態における、欠陥検査動作の1例の概要を示すフローチャート図である。

【符号の説明】

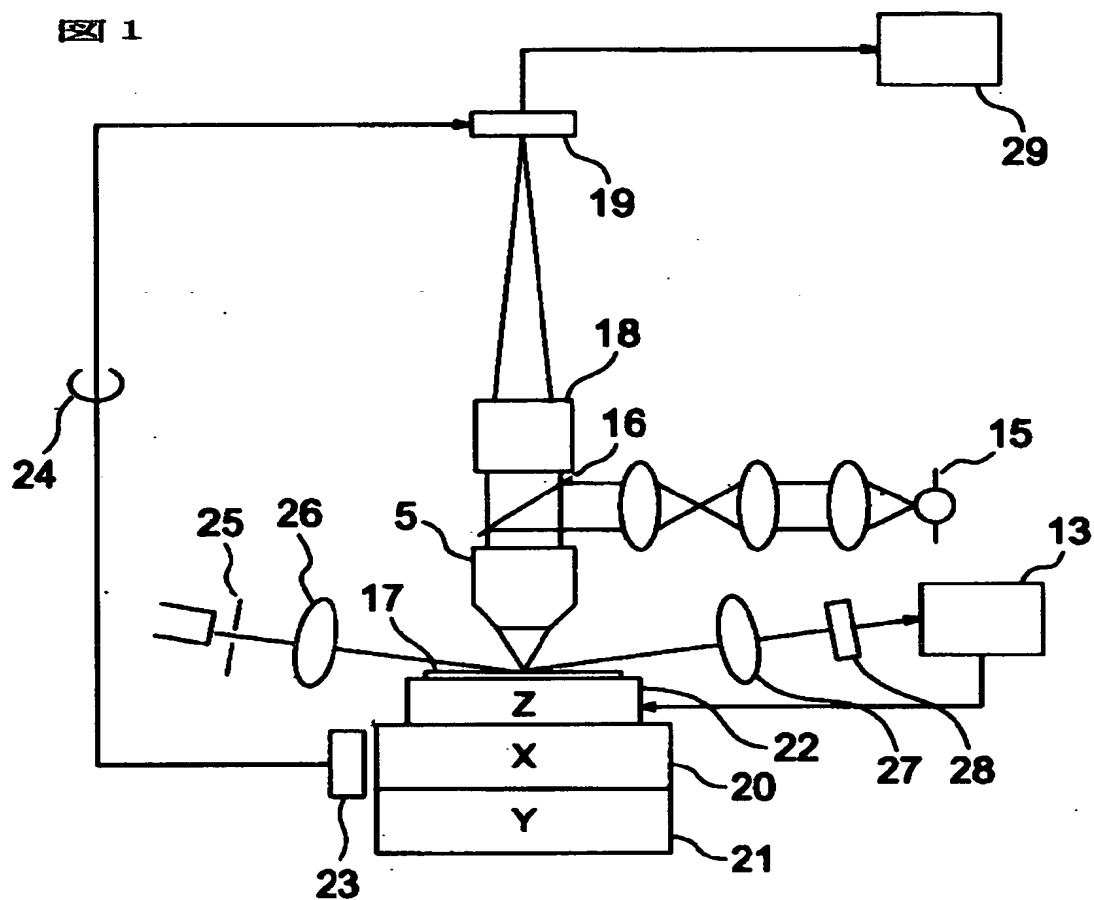
- 1 下層回路パターン
- 2 層間絶縁膜（透明膜）
- 3 平坦な表面
- 4 回路パターン
- 5 対物レンズ
- 6 72度
- 7 30%
- 8 TTL方式で照明した光線
- 10 下層回路パターン1の形成
- 11 回路パターン4と同一層で発生した欠陥
- 12 下層回路パターン1と同一層で発生した欠陥
- 13 Zステージ制御部
- 14 層間絶縁膜（透明膜）2の表面
- 15 照明光源
- 16 ハーフミラー
- 17 ウェハ
- 18 結像レンズ
- 19 イメージセンサ
- 20 Xステージ

- 21 Yステージ
- 22 Zステージ
- 23 リニアスケール
- 24 タイミング信号
- 25 スリット
- 26 結像レンズ
- 27 結像レンズ
- 28 受光センサ
- 29 画像処理部
- 30 a 遅延メモリ
- 30 b エッジ検出回路
- 30 c エッジ検出回路
- 30 d 2値化回路
- 30 e 2値化回路
- 30 f 不一致検出回路
- 30 g 位置合わせ回路
- 30 h 欠陥判定回路
- 31 繰り返しパターン
- 32 結像位置
- 33 像
- 34 $0.2 \sim 0.3 \mu\text{m}$
- 35 $0.15 \mu\text{m}$
- 36 $0.7 \sim 0.9$
- 37 ベストフォーカス位置
- 38 DOF範囲
- 39 $0.2 \mu\text{m}$
- 40 透明膜
- 41 光線
- 42 85度

- 4 3 8 8 度
- 4 5 過検出防止
- 4 6 見逃し
- 5 0 温度センサ
- 5 1 合焦位置オフセット調整部
- 5 3 焦点位置測定用の試料
- 5 4 スリット
- 5 5 ダイクロイックミラー
- 5 6 受光センサ
- 5 7 合焦位置（反射位置）

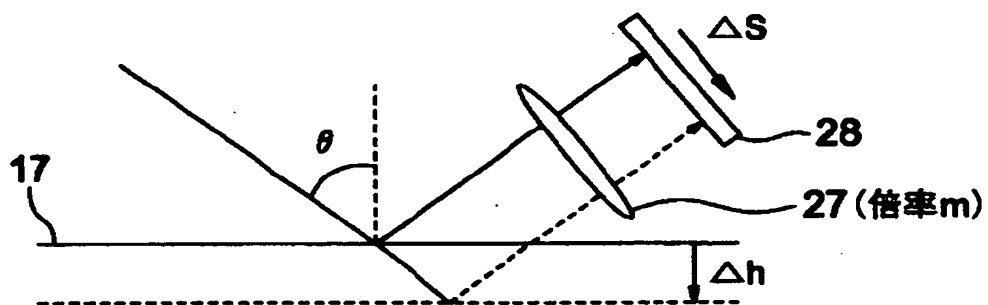
【書類名】 図面

【図 1】



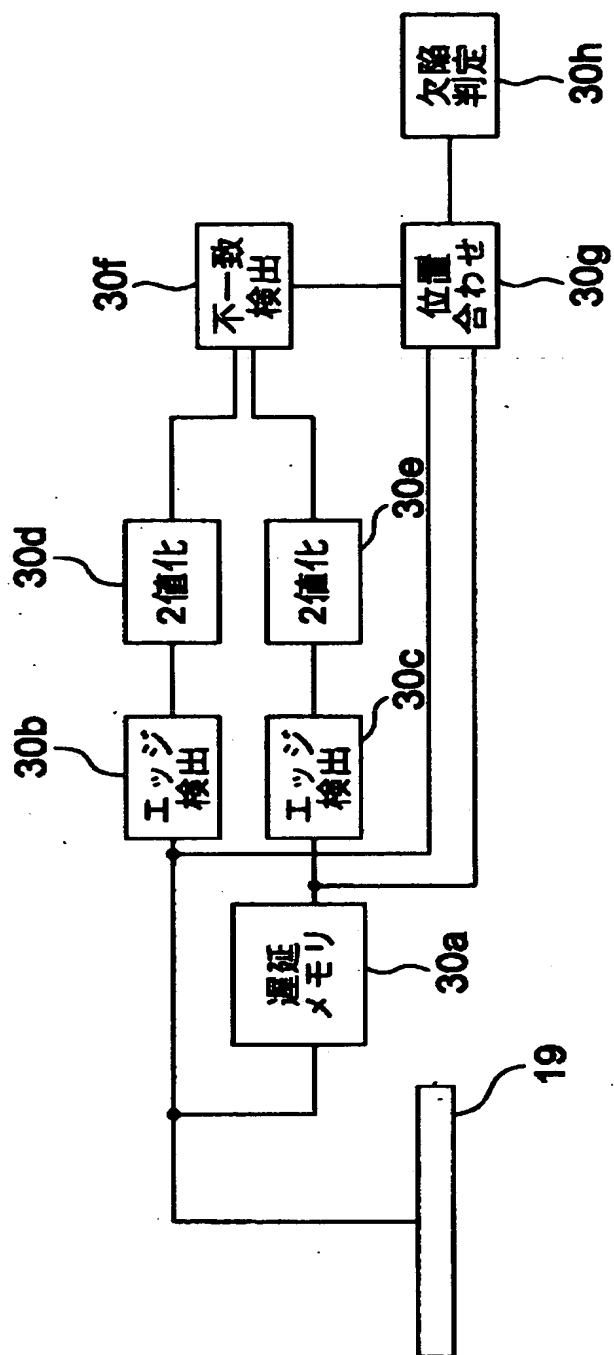
【図 2】

図 2



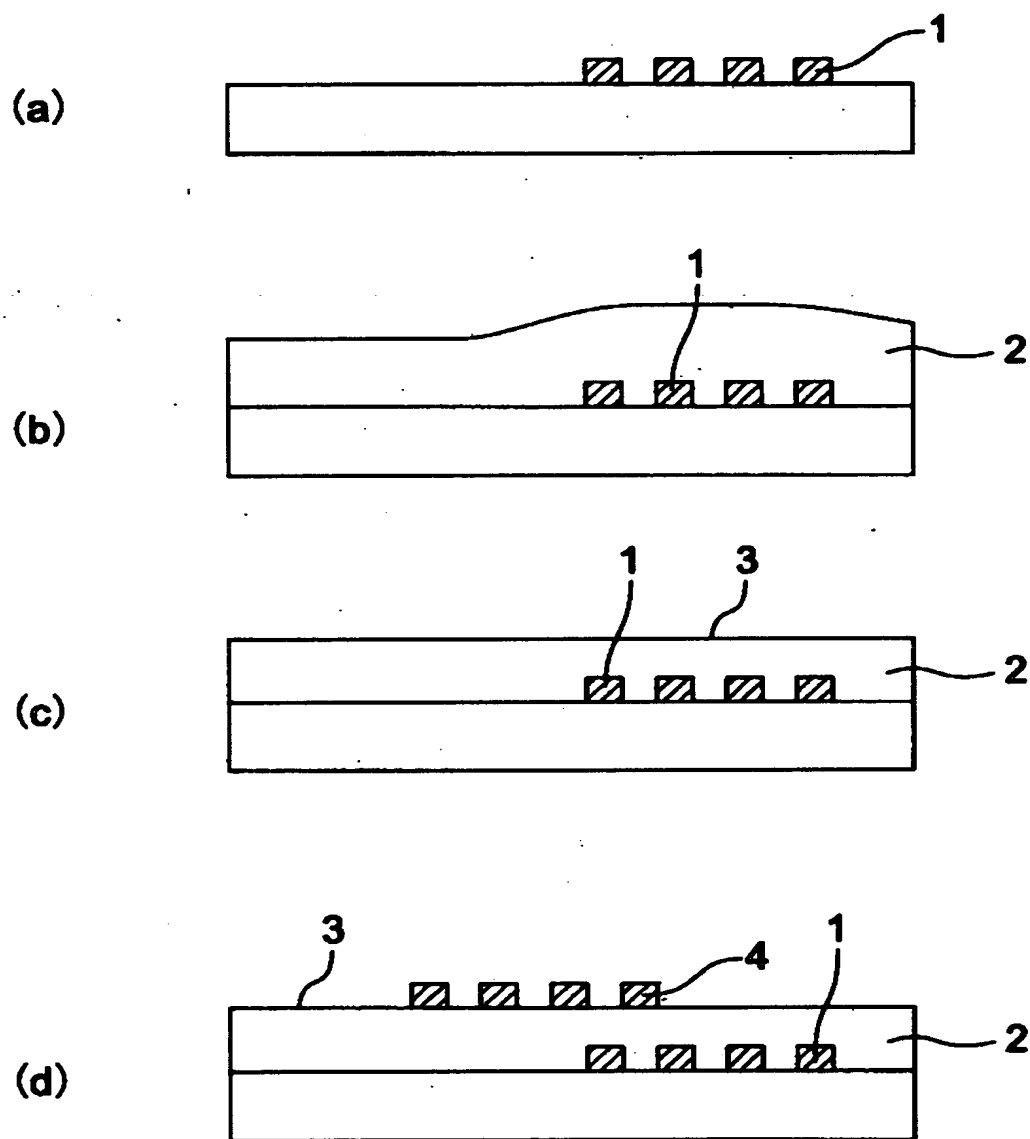
【図3】

図3



【図 4】

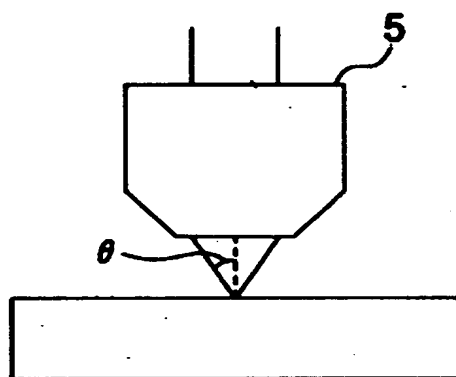
図 4



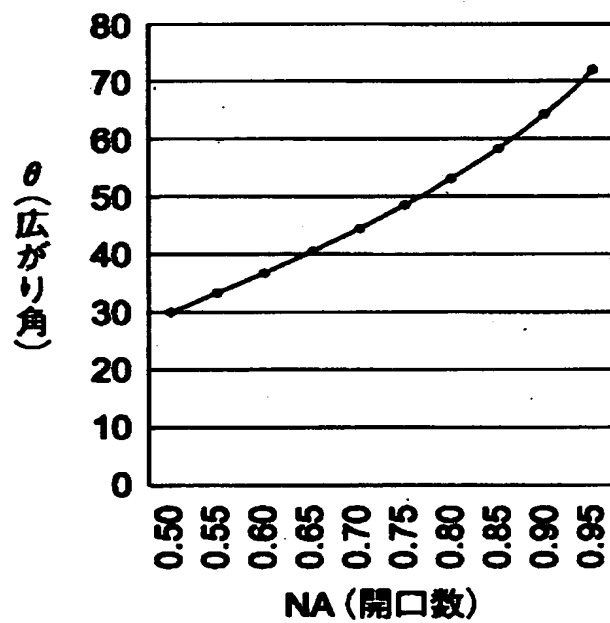
【図 5】

図 5

(a)

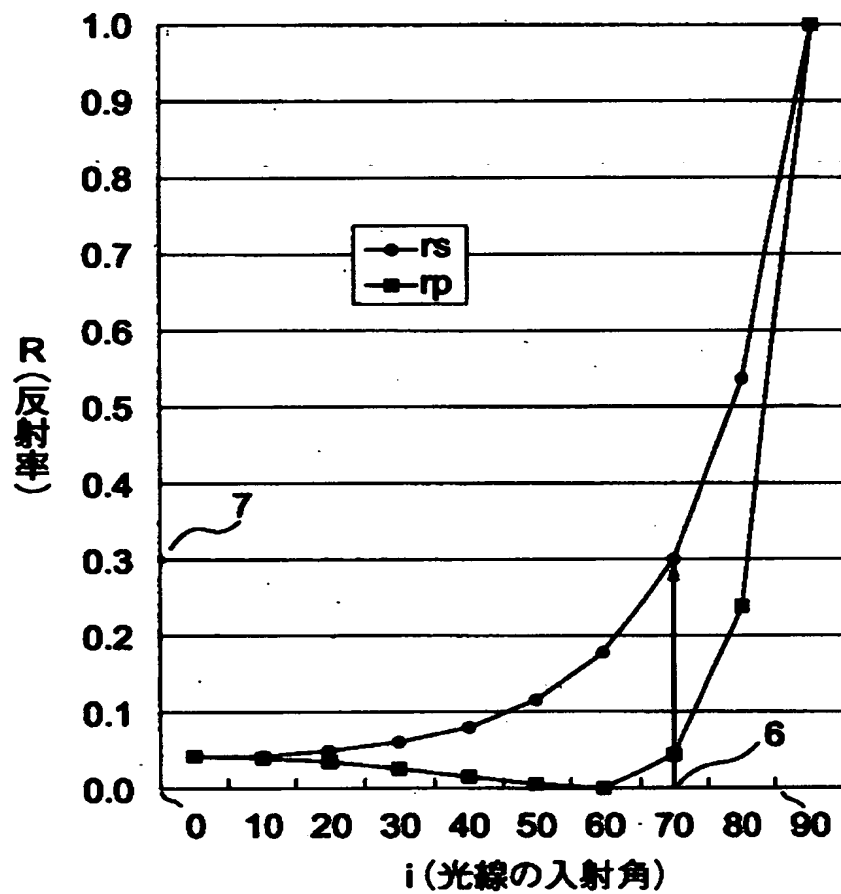


(b)



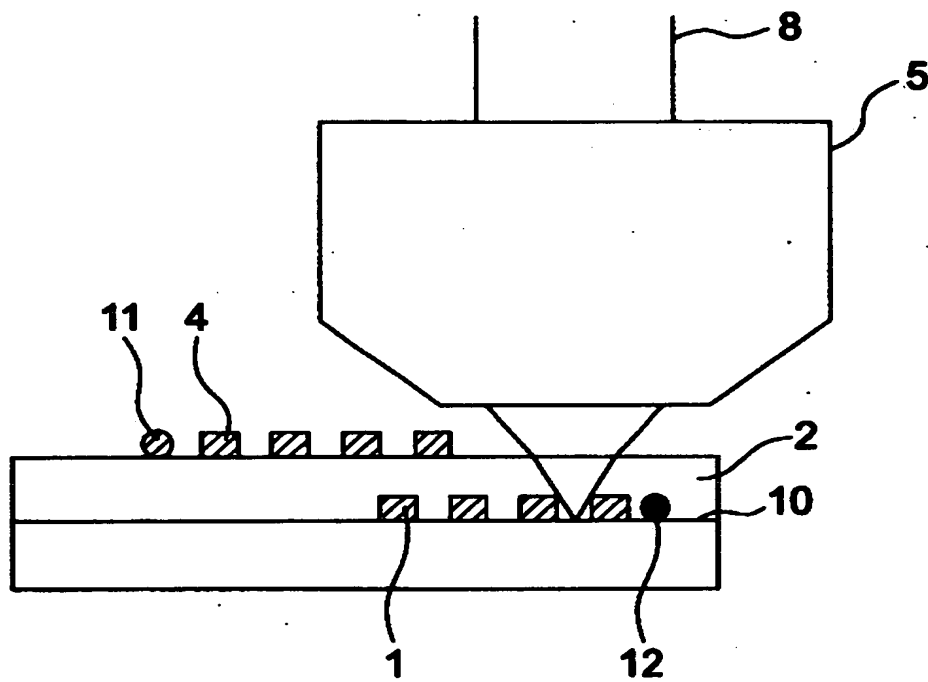
【図6】

図 6



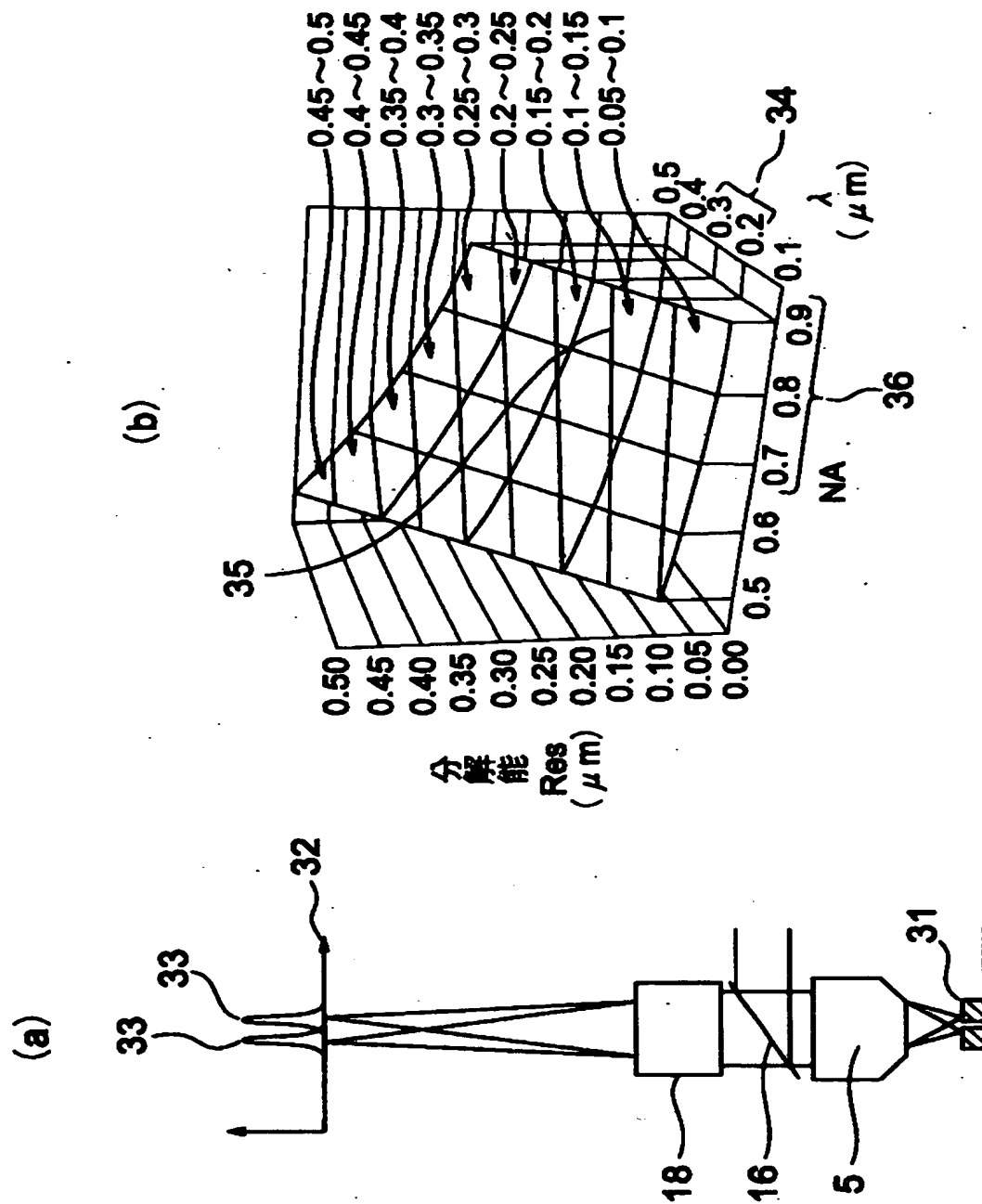
【图 7】

图 7



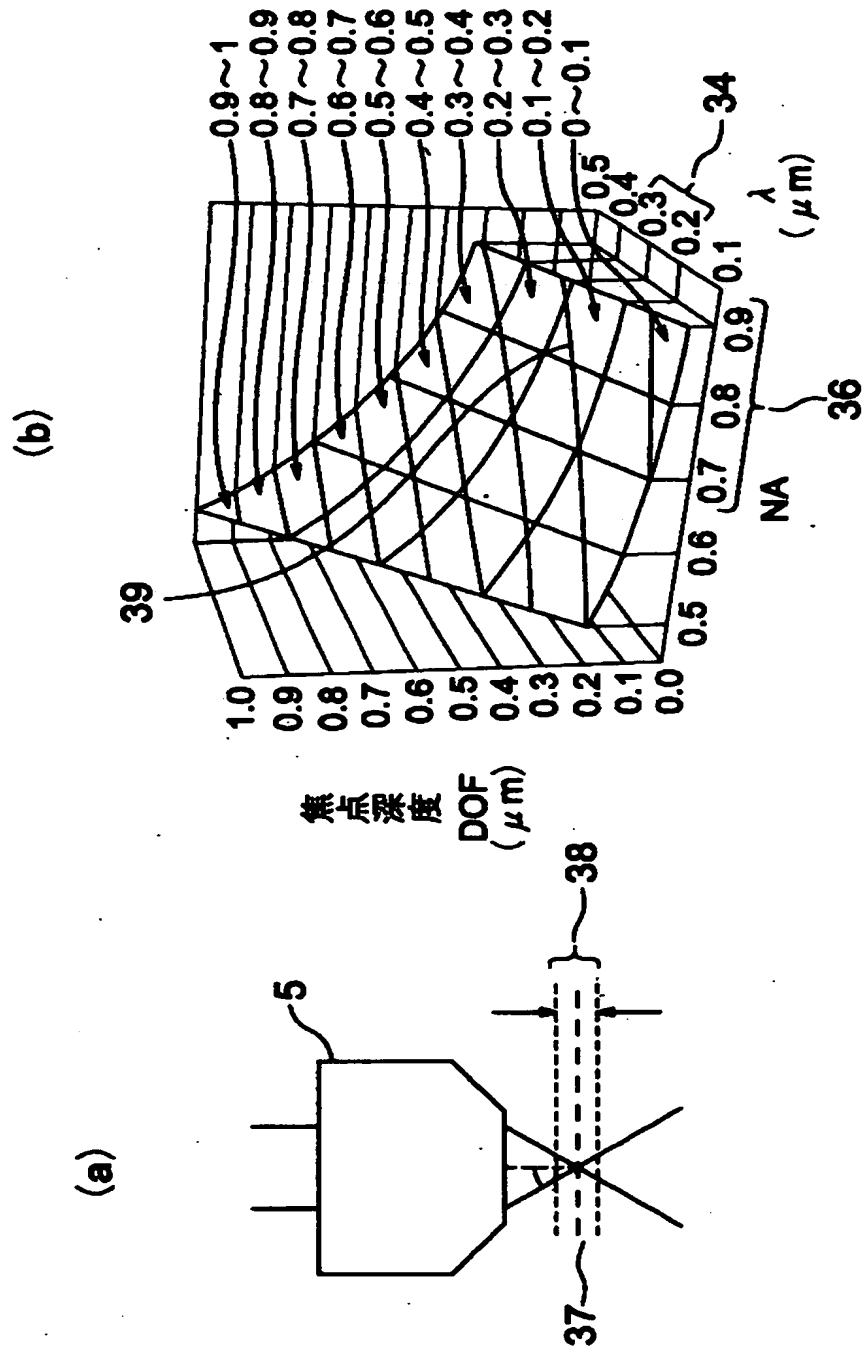
【図 8】

図 8



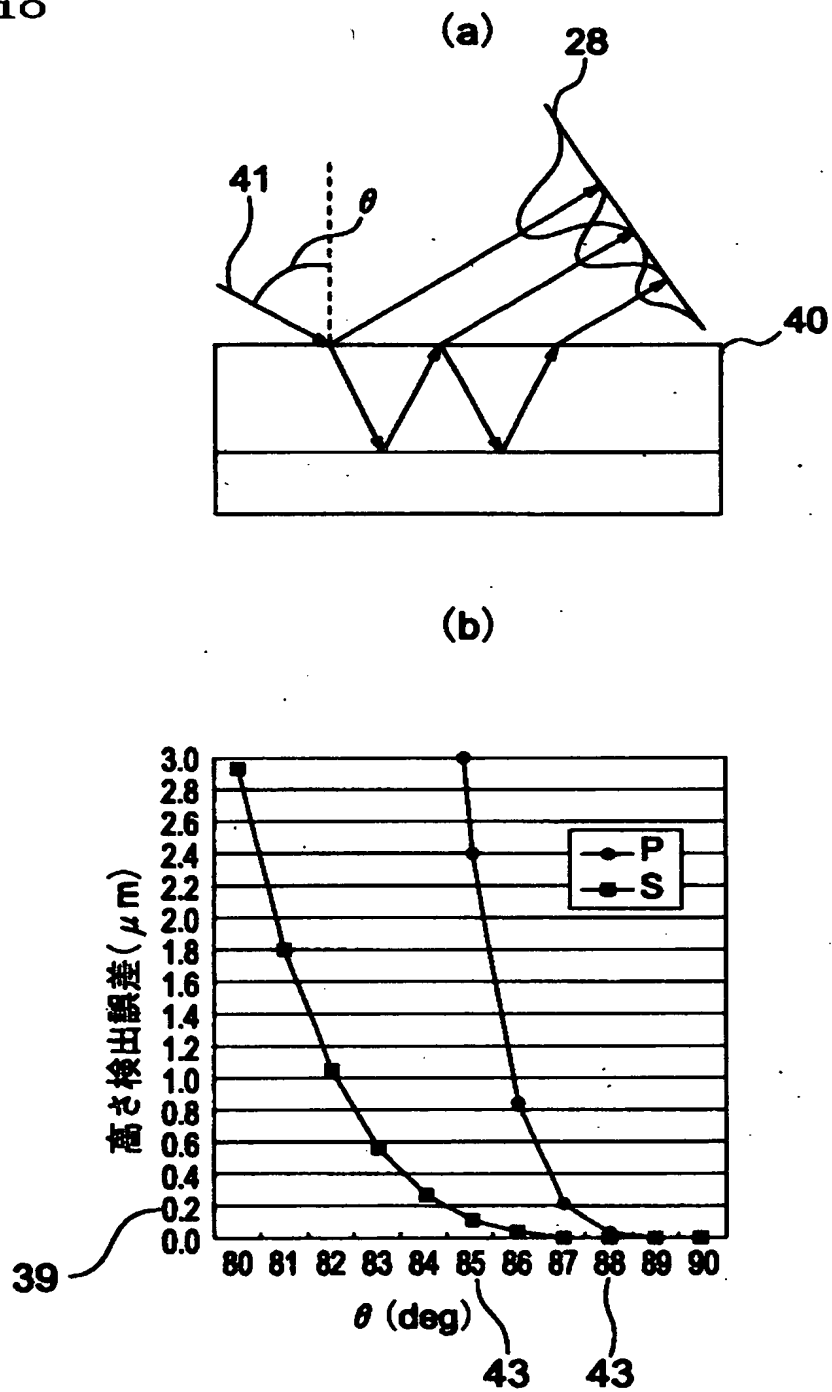
【図 9】

図 9



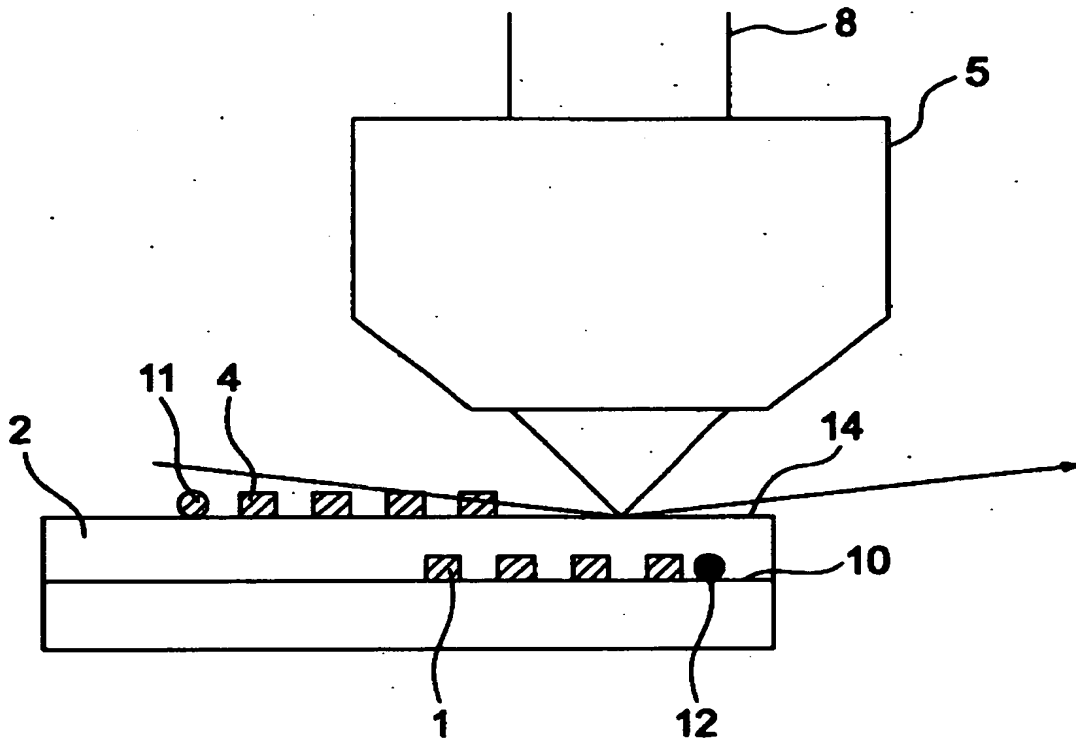
【図10】

図10



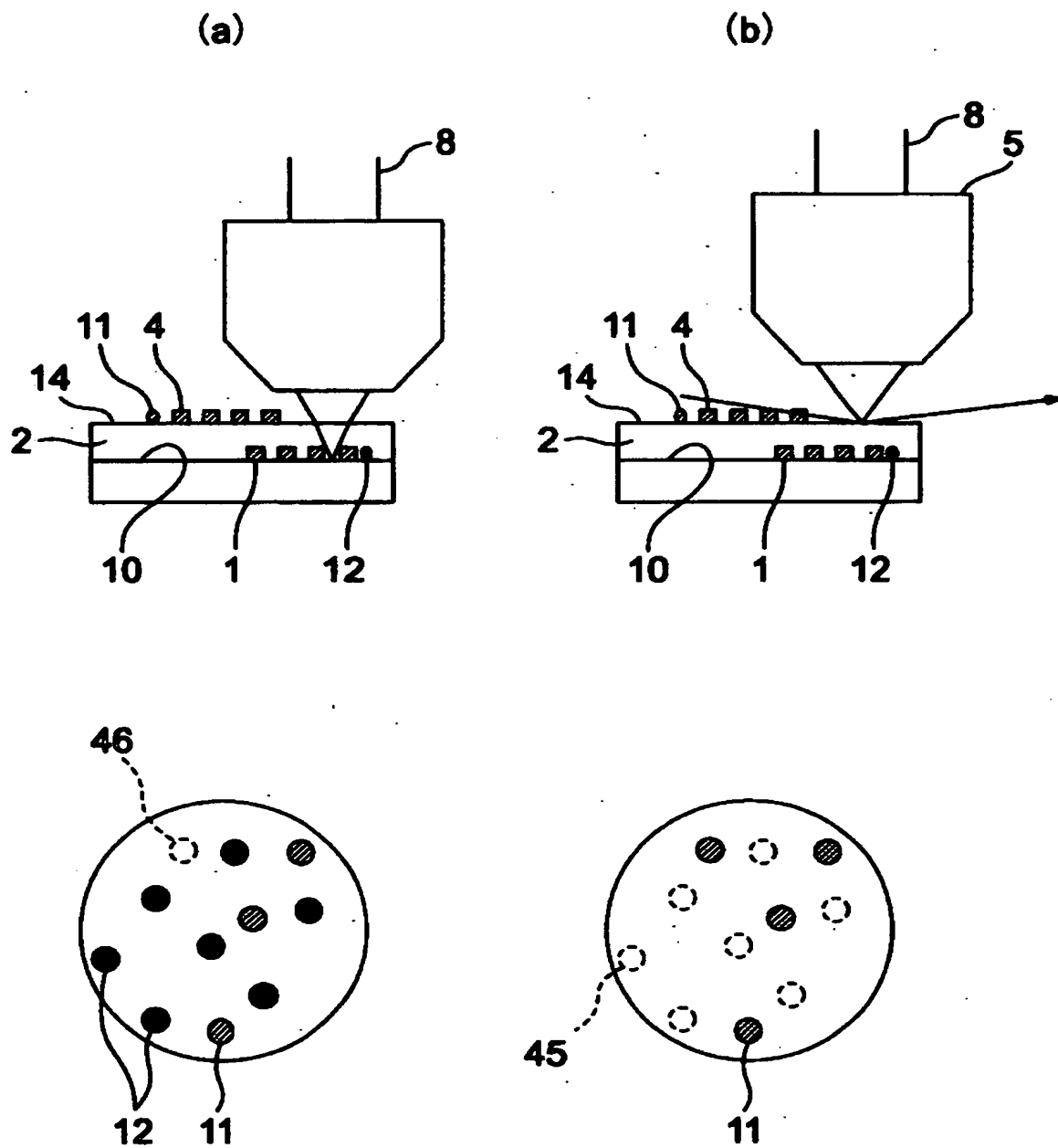
【図 11】

図11



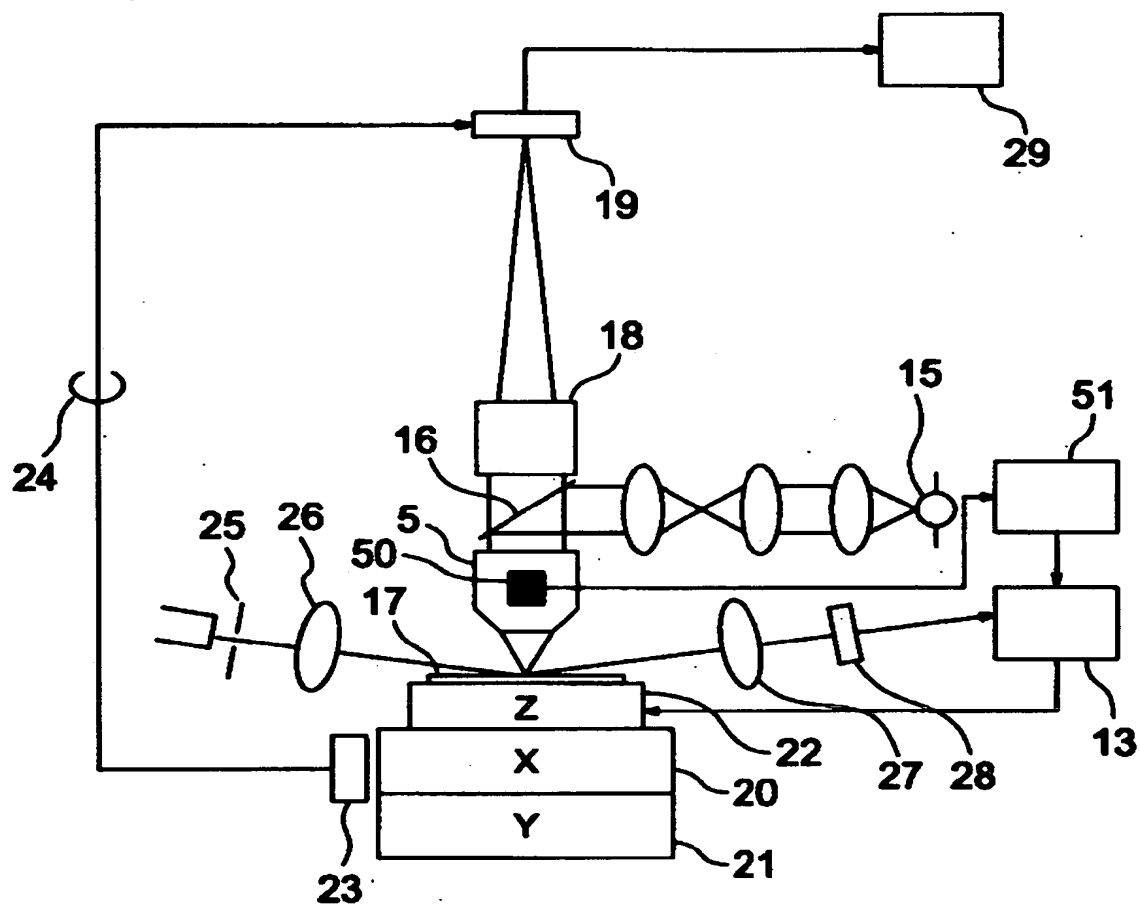
【図12】

図12



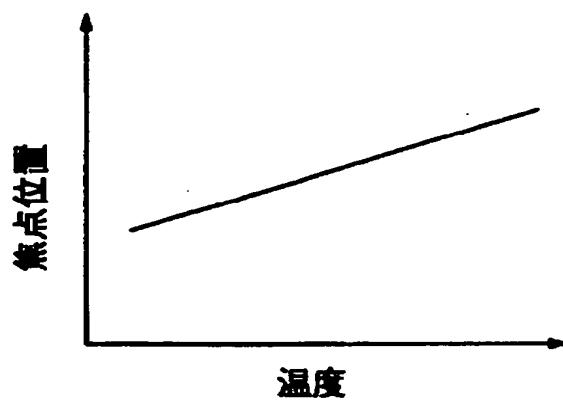
【図13】

図13



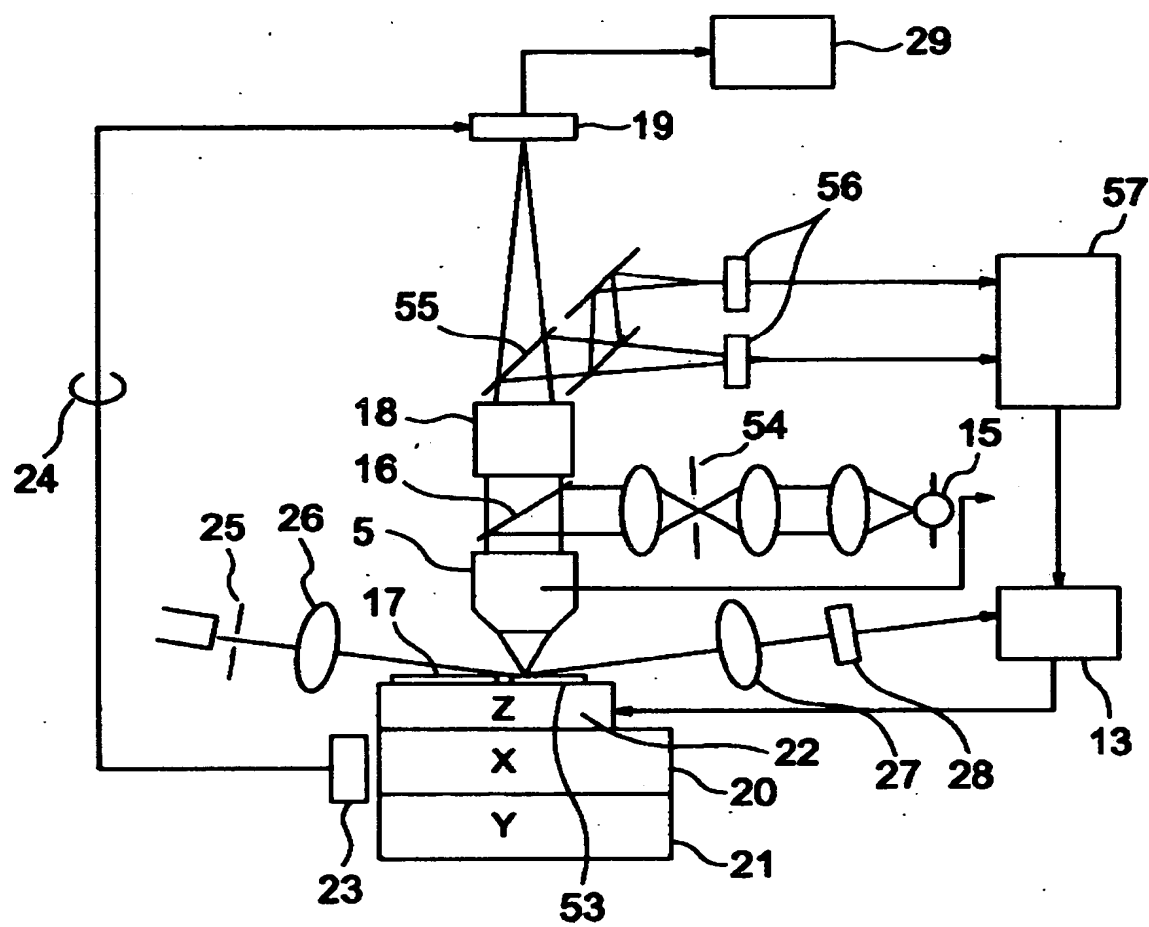
【図14】

図14



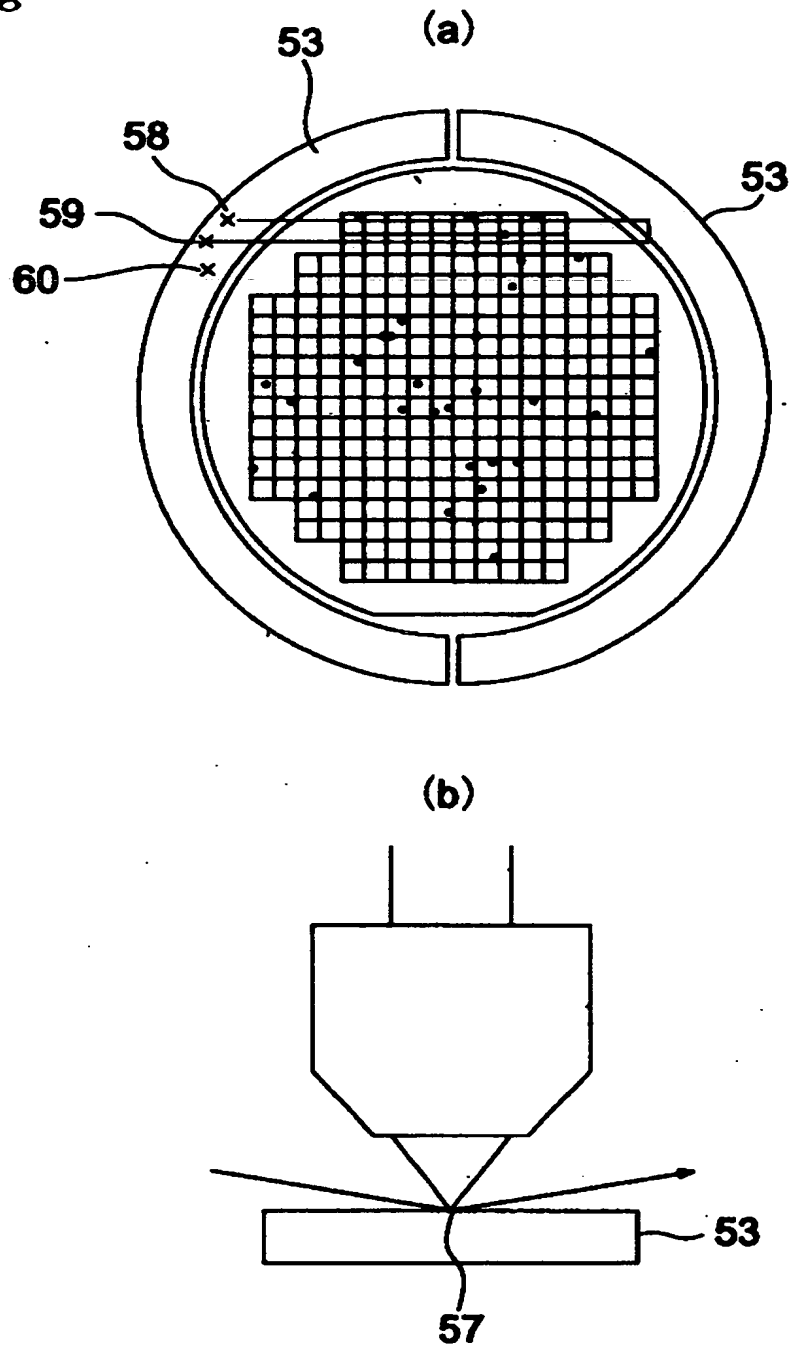
【図 15】

图 15

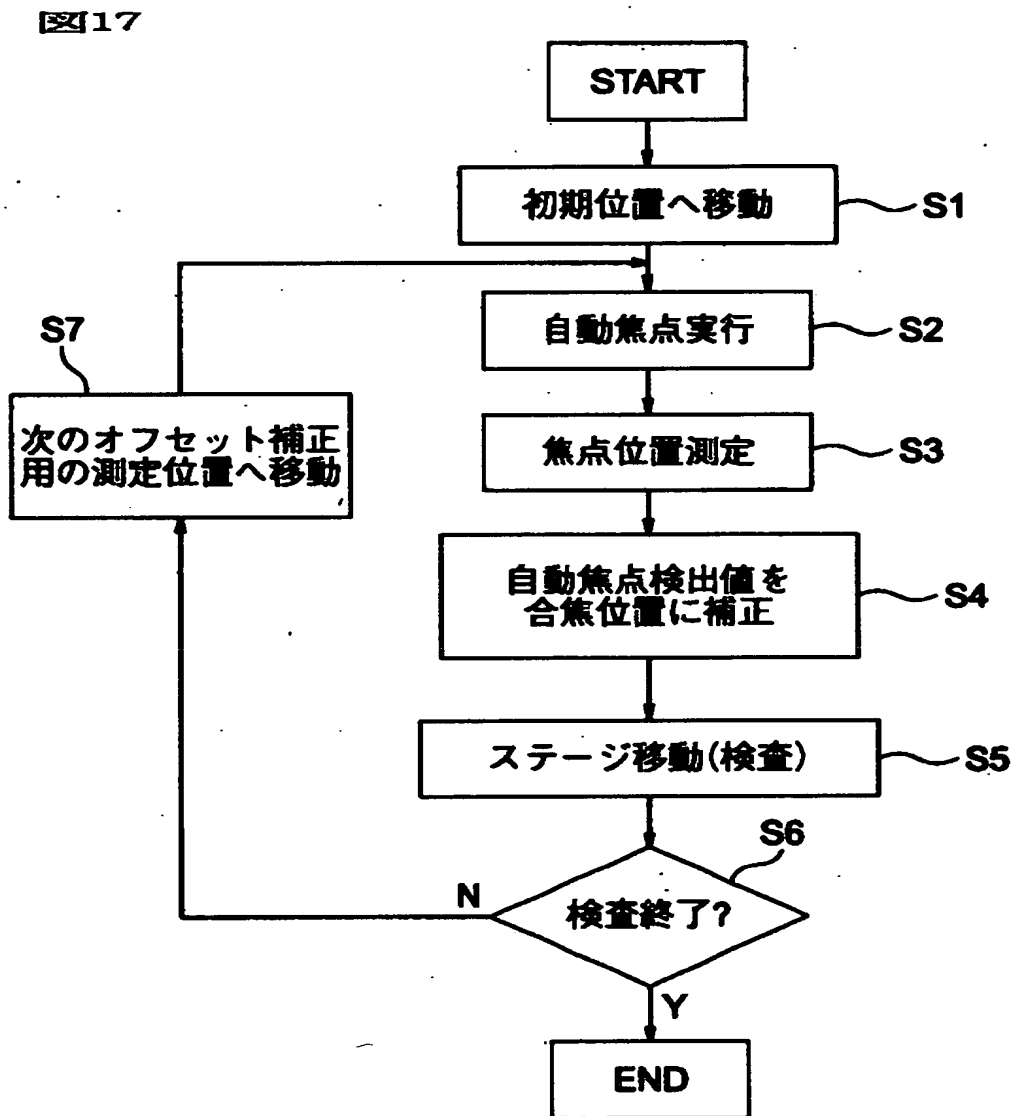


【図16】

図16



【図 1 7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 透明な層間絶縁膜上の微細パターンおよび同一層の欠陥を感度良く検出する一方、下層のパターンおよび同一層の欠陥をデフォーカスした状態で検出し、本来検査したい工程の欠陥のみを検出可能とすること。

【解決手段】 本来同一形状となるべきパターンが複数規則的に配置された被検査物の検査装置において、解像度 $0.18\mu\text{m}$ 以下、より好ましくは $0.13\mu\text{m}$ 以下となる照明波長と対物レンズ開口数の関係を備えた撮像光学系と、撮像光学系の結像位置に配置された光電変換器と 撮像光学系とは別に設けられた光路からなり入射角度 85 度以上、より好ましくは 88 度以上で照明する自動焦点光学系と、自動焦点光学系の検出信号に基づき撮像光学系の焦点位置を調節する手段と、光電変換器の電気信号を処理する手段とを、具備した構成をとる。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005108]

1. 変更年月日 1990年 8月31日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地
氏 名 株式会社日立製作所